







# Measuring device for determining the overall starting torque, the friction moment of a screw head and the pre-stressing force of a tightened screw connection

**Patent number:** EP0987532  
**Publication date:** 2000-03-22  
**Inventor:** HUNSCHE AXEL (DE)  
**Applicant:** TEST GMBH (DE)  
**Classification:**  
 - international: G01L5/24  
 - european: G01L5/24  
**Application number:** EP19990116864 19990903  
**Priority number(s):** DE19981042231 19980915

## Also published as:

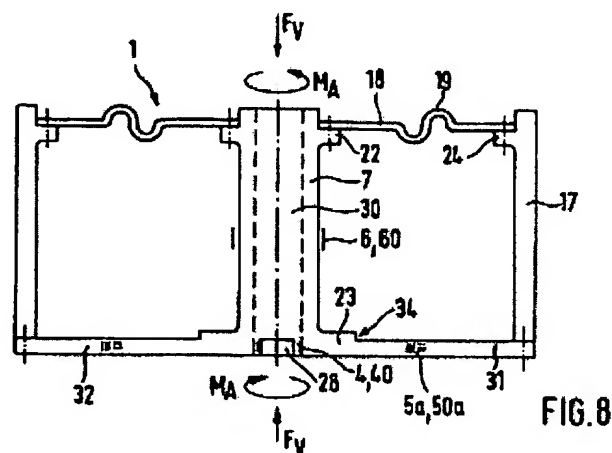
 EP0987532 (A3)  
 DE19842231 (C1)

## Cited documents:

 DE2352749  
 US5339696  
 DE2521428  
 DE3408310

## Abstract of EP0987532

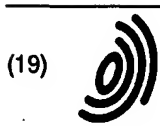
The system measures the resulting stresses; especially a bending stress from the total tightening torque ( $M_A$ ), a torsion or bending stress from the head frictional torque and a compressive stress or strain from the axial preloading ( $F_V$ ), using strain gauge measuring strips (40,50a,60), which are arranged at the force-torque pick-up, so that it forms at least one of the measuring points. The measuring point for the torsion or bending stresses dependent on the head frictional torque is mechanically decoupled from an influence of the compressive stress dependent on the axial preloading force.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 0 987 532 A2

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
22.03.2000 Patentblatt 2000/12

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: G01L 5/24

(21) Anmeldenummer: 99116864.2

(22) Anmeldetag: 03.09.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 15.09.1998 DE 19842231

(71) Anmelder: Test GmbH  
40699 Erkrath (DE)

(72) Erfinder: Hunsche, Axel  
44287 Dortmund (DE)

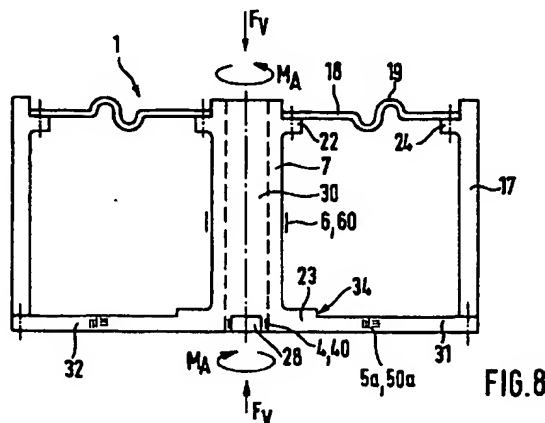
(74) Vertreter:  
Kahlhöfer, Hermann, Dipl.-Phys. et al  
Patent- und Rechtsanwälte  
Bardehle, Pagenberg, Dost, Altenburg,  
Gelssler, Isenbruck  
Uerdinger Str. 5  
40474 Düsseldorf (DE)

(54) **Messvorrichtung zur Bestimmung des Gesamtanzugsmoments, des Kopfreibungsmoments und der Vorspannkraft einer angezogenen Schraubverbindung**

(57) Eine erfindungsgemäße Meßvorrichtung zur Bestimmung des Gesamtanzugsmoments  $M_A$ , des Kopfreibungsmoments  $M_K$  und der Vorspannkraft  $F_V$  einer angezogenen und in einem Kraft/Moment-Aufnehmer (1) gehaltenen Schraubverbindung durch Messung resultierender Spannungen mittels Dehnungsmeßstreifen (40, 50, 50a, 60), die am Kraft/Moment-Aufnehmer (1) so angeordnet sind, daß sie zumindest jeweils eine Meßstelle (4, 5, 5a, 6) zur Bestimmung von  $M_A$ ,  $M_K$  oder  $F_V$  abhängigen Spannungen bilden, zeichnet sich dadurch aus, daß die Meßstelle (5, 5a) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung bzw. Biegespannung durch mechanische Mittel (17, 18) von einem Einfluß der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung entkoppelt ist. Dadurch

wird in vorteilhafter Weise ein Übersprechen einer Meßgröße in die Meßstelle der jeweils anderen Meßgröße insoweit verhindert, als daß eine erhöhte Meßgenauigkeit erzielbar ist, durch die einerseits das Kopfreibungsmoment  $M_K$  genauer bestimmbar und andererseits eine besser gesicherte Aussage über Qualität und Zuverlässigkeit der Schraubverbindung ermöglicht ist.

Die Erfindung eignet sich vorzugsweise für einen Einsatz in der Qualitätssicherung, insbesondere in der Automobilindustrie. Überschraubmomente von selbsthemmenden Muttern sind ein weiteres Anwendungsgebiet, ebenso Wareneingangskontrolle und Forschung und Entwicklung.



EP 0 987 532 A2

BEST AVAILABLE COPY  
THIS PAGE BLANK (USPTO)

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Meßvorrichtung zur Bestimmung des Gesamtanzugsmoments  $M_A$ , des Kopfreibungsmoments  $M_K$  und der Vorspannkraft  $F_V$  einer angezogenen und in einem Kraft/Moment-Aufnehmer gehaltenen Schraubverbindung durch Messung resultierender Spannungen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Bekannt ist aus der Fachliteratur, beispielsweise aus Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, 14. Aufl. 1981, S. 374 ff., daß das wesentliche Merkmal einer Schraubverbindung, welche beispielsweise zwei Bauteile wie Platten oder Flansche verspannt, das ineinandergreifende Gewinde eines Schraubenbolzens mit dem Innengewinde einer Mutter bzw. eines Bauteils ist. Die Drehung wenigstens eines der Teile führt zu deren Verschiebung relativ zueinander entlang einer gemeinsamen Achse, der Schraubenachse. Die relative Längsbewegung und die relative Drehbewegung eines Teiles (z. B. der Mutter) gegenüber einem anderen Teil (z. B. dem Schraubenbolzen) sind einander proportional. Wird durch Weiterdrehen die Schraubverbindung angezogen, dann entsteht im Schraubenbolzen eine Zugkraft (Zugspannung), die mitunter auch als Vorspannkraft bezeichnet wird, und eine gleich hohe Druckkraft (Druckspannung) zwischen den Bauteilen. Dadurch längt sich der Schraubenbolzen etwas und die Platten werden in einem durch den sog. "Rötscher-Kegel" begrenzten Bereich zusammengepreßt. Man spricht von einer elastischen Nachgiebigkeit in der Schraubverbindung.

[0003] Beim Drehen der Teile muß ein mit der Zugkraft  $F_V$  steigendes Gewindereibungsmoment  $M_G$  und ein Kopfreibungsmoment  $M_K$  überwunden werden. Das Gewindereibungsmoment  $M_G$  resultiert aus den form-schlüssig gegeneinander gleitenden Wirkflächen, den sog. Schraubenflächen (meist Regelflächen) der beiden Teile. Das Kopfreibungsmoment  $M_K$  resultiert aus der Reibung der aufeinandergleitenden Flächen unter der Mutter bzw. unter dem Schraubenkopf, je nachdem, welches Teil beim Anziehen der Schraubverbindung gedreht wird. Das gesamte, beim Anziehen der Schraubverbindung aufgebrachte Anzugsmoment  $M_A$  setzt sich additiv aus den Reibungsmomenten  $M_G$  und  $M_K$  zusammen und ist damit abhängig von Vorspannkraft  $F_V$  und Reibungszahlen, wobei letztere natürlich werkstoffabhängig sind.

[0004] Eine Berechnung des häufig nicht direkt meßbaren Gewindereibungsmomentes  $M_G$  bereitet insofern Schwierigkeiten, als daß teilweise die meßbaren Parameter, nämlich  $M_A$ ,  $M_K$  und  $F_V$ , insbesondere jedoch das Kopfreibungsmoment  $M_K$ , mittels bekannter Meßvorrichtungen nicht hinreichend genau ermittelbar sind. Damit ist eine gesicherte Aussage über Qualität und Zuverlässigkeit einer Schraubverbindung erschwert, was insbesondere in der Automobilindustrie, die nach internationalen Normen und Hausnormen arbeitet, hin-

derlich ist.

[0005] Ein Meßgerät zur Bestimmung des Gesamtanzugsmoments  $M_A$ , des Kopfreibungsmoments  $M_K$  und der Vorspannkraft  $F_V$  ist beispielsweise aus der DE 25 21 428 C2 bekannt. Das Meßgerät besteht aus einem im wesentlichen zylindrischen Gehäuse mit einer parallel zur Zylinderachse des Gehäuses orientierten unteren Grundplatte. An einem ersten Ende weist das Gehäuse einen mit einer Innenschulter versehenen Innenflansch auf. An der Innenschulter ist der Außenring eines Kugellagers befestigt. Am gegenüberliegenden zweiten Ende des Gehäuses ist ein innerer Innenflansch darstellender Stahlring angeschraubt, der in einer oberen Ausnehmung den Außenring eines weiteren Kugellagers aufnimmt, der mit einem angeformten, ringförmigen Abschnitt in das Gehäuse hineinragt. Eine Einspannhülse ist nahe ihrer beiden Stirnenden über die Kugellager und reibungsarm im Gehäuse drehbar gelagert, wobei sie jedoch über zwei diametral vom Umfang der Einspannhülse abragende, biegeelastische Arme am gehäusefesten Stahlring gefesselt ist. Die Arme weisen an ihrem der Einspannhülse benachbarten Ende eine Querschnittsverminderung auf. Die freien Enden der Arme sind jeweils über einen zylindrischen Stift an den Ring angelenkt. Bei einer Verdrehung der Einspannhülse aufgrund des Anziehens der Schraubverbindung innerhalb des Stahlringes können die Arme um die als Gelenkachsen wirkenden Stifte reibungsarm schwenken.

[0006] Die zu prüfende Schraubverbindung wird über Einsatzstücke in die Einspannhülse, welche in ihrem mittleren Bereich als verhältnismäßig dünnwandige Torsionszelle ausgebildet ist, eingespannt. Im als Torsionszelle ausgebildeten Bereich der Einspannhülse werden mittels wenigstens zweier, außen angebrachter Sätze von Dehnungsmeßstreifen die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung und die von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung in der Einspannhülse gemessen, deren Betrag der interessierenden Zugspannung in der Schraubverbindung entspricht. Das gesamte beim Anziehen der Schraubverbindung aufgebrachte Anzugsmoment  $M_A$  tritt als Biegespannung im Bereich der biegeelastischen Arme auf und wird durch zusätzlich in den Querschnittsverminderungen der Arme angeordneten Dehnungsmeßstreifen erfaßt. Das Gewindereibungsmoment  $M_G$  läßt sich aus der Differenz des Gesamtanzugsmomentes  $M_A$  und des Kopfreibungsmomentes  $M_K$  berechnen. Während des Anziehens der Schraubverbindung tritt eine Verformung der Einspannhülse auf. Die Gesamtverformung der Einspannhülse besteht aus einer reinen Stauchung (Druckspannung) und einer reinen Scherung (Torsionsspannung), welche durch folgende Winkelbedingungen beschrieben werden können: Die Stauchung (Druckspannung) kann durch zwei unter 90° zueinander gelegene Dehnungsmeßstreifen, wobei einer parallel und der andere quer zur Längsachse der Einspannhülse angeordnet ist, vollständig erfaßt wer-

den. Die Scherung (Torsionsspannung) kann durch zwei unter 90° zueinander gelegene und zur Längsachse der Einspannhülse um 45° geneigte Dehnungsmeßstreifen vollständig erfaßt werden. Die Einspannhülse ist entlang ihrer Längsachse durch die Vorspannkraft  $F_V$  gestaucht und senkrecht dazu durch  $M_K/R$  gesichert, wobei  $R$  der Radius der Einspannhülse ist, der als groß gegenüber ihrer Wandstärke  $D$  angenommen wird.

[0007] Die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung hat keine weitere Stauchung (Druckspannung) entlang der Längsachse der Einspannhülse zur Folge. Ebenso führt die axiale Stauchung (Druckspannung) nicht zu einer weiteren Scherung (Torsionsspannung).

[0008] Allerdings findet ein sogenanntes Übersprechen (Störgröße) der einen Meßgröße in die andere und umgekehrt statt. Insbesondere sind die auf der letztlich wie eine Feder wirkenden torsions- und druckelastischen Einspannhülse aufgebrachten Sätze von Dehnungsmeßstreifen sowohl der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung als auch der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung ausgesetzt. Da die zuvor beschriebenen Winkelbedingungen, insbesondere bei der Anbringung der Dehnungsmeßstreifen, nicht immer zuverlässig eingehalten werden können, erfassen die Dehnungsmeßstreifen beispielsweise für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung einen kleinen Anteil der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung ebenso mit wie umgekehrt.

[0009] Maßgeblich für die Stauchung (Druckspannung) der Einspannhülse und die Längung (Zugspannung) des Schraubenbolzens unter der Vorspannkraft  $F_V$  sind ihre tragenden Querschnitte und die Elastizitätsmoduln ihrer Werkstoffe. Der Elastizitätsmodul des Schraubenbolzens ist in der Regel derselbe wie der der Einspannhülse; beide bestehen vorzugsweise aus Stahl. Der tragende Querschnitt der Einspannhülse ist möglichst klein gewählt im Interesse einer gut meßbaren, großen Stauchung (Druckspannung). Der tragende Querschnitt des Schraubenbolzens ist im Interesse der Materialersparnis ebenfalls klein. Die Untergrenze der tragenden Querschnitte wird festgelegt durch die Forderung, daß keine bleibende Verformung im Betrieb auftreten darf. Diese Forderung gilt für Einspannhülse und Schraubverbindung gleichermaßen. Daher sind die die Vorspannkraft  $F_V$  tragenden Querschnitte beim Schraubenbolzen und bei der Einspannhülse im wesentlichen gleich groß.

[0010] Anders ist die Situation bei der Torsionsverformung. Zwar sind auch hier die elastischen Werkstoffkennwerte, nämlich die Schubmoduln, identisch. Außerdem ist der Schraubenbolzen so ausgelegt, daß annähernd die maximal zulässige Torsionsverformung auftritt. Maßgeblich für die Torsionsverformung ist jedoch, neben dem Schubmodul und dem Betrag des

tragenden Querschnitts, dessen Radius in bezug auf die Drehachse, d. h. die Schraubenachse bzw. Längsachse der Einspannhülse, und dieser ist bei der Einspannhülse zwangsläufig erheblich größer als bei dem Schraubenbolzen, da erstere den letzteren coaxial umschließt. Daher ist bei der Einspannhülse die Torsionsverformung erheblich kleiner als im Schraubenbolzen. Ein elektrisches Ausgangssignal (Nutzgröße) des zugehörigen Dehnungsmeßstreifens ist folglich deutlich kleiner als das für die Stauchung (Druckspannung), oder anders ausgedrückt, deutlich empfindlicher gegenüber dem Übersprechen (Störgröße) anderer Meßgrößen. So beträgt beispielsweise nach der DE 25 21 428 C2 das Verhältnis der Meßsignale (Nutzgrößen) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung etwa nur 1/5 bis 1/3 desjenigen für die von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung. Durch die relativ kleine Torsionsverformung, die zu einem kleinen Meßsignal (Nutzgröße) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung führt, und die gleichzeitig anliegende axiale Vorspannkraft  $F_V$ , die in einer großen Stauchung (Druckspannung) resultiert, erfolgt durch das Übersprechen (Störgröße) der Meßgrößen eine gravierende Verfälschung des Meßsignals (Nutzgröße) der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung.

[0011] Umgekehrt ist allerdings aufgrund der geschilderten Verhältnisse eine Verfälschung der Meßgröße (Nutzgröße) für die von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung durch Übersprechen (Störgröße) der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung in die Meßstelle für die Vorspannkraft  $F_V$  sehr gering und ohne Bedeutung.

[0012] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Meßvorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß insbesondere das Kopfreibungsmoment  $M_K$  bzw. die davon abhängige Torsionsspannung mit einer erhöhten Meßgenauigkeit bestimmbar ist.

[0013] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung werden in den abhängigen Unteransprüchen angegeben.

[0014] Die erfindungsgemäße Meßvorrichtung zur Bestimmung des Gesamtanzugsmoments  $M_A$ , des Kopfreibungsmoments  $M_K$  und der Vorspannkraft  $F_V$  einer angezogenen und in einem Kraft/Moment-Aufnehmer gehaltenen Schraubverbindung durch Messung resultierender Spannungen, insbesondere:

- einer vom Gesamtanzugsmoment  $M_A$  abhängigen Biegespannung über wenigstens eine Meßstelle;
- einer vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung bzw. Biegespannung über wenigstens eine Meßstelle; sowie
- einer von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung über wenigstens eine Meßstelle;

mittels Dehnungsmeßstreifen, die am Kraft/Moment-Aufnehmer so angeordnet sind, daß sie zumindest jeweils eine der Meßstellen zur Bestimmung der von  $M_A$ ,  $M_K$  oder  $F_V$  abhängigen Spannungen bilden, zeichnet sich dadurch aus, daß die Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung bzw. Biegespannung durch mechanische Mittel von einem Einfluß der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung entkoppelt ist.

[0015] Durch das Vorsehen von Mitteln zur mechanischen Entkopplung wird in vorteilhafter Weise ein Übersprechen (Störgröße) einer Meßgröße in die Meßstelle der jeweils anderen Meßgröße weitestgehend verhindert und eine erhöhte Meßgenauigkeit, insbesondere für das Kopfreibungsmoment  $M_K$ , erzielt, so daß einerseits das Gewindereibungsmoment  $M_G$  genauer bestimmbar und dadurch eine besser gesicherte Aussage über Qualität und Zuverlässigkeit einer Schraubverbindung ermöglicht und andererseits die Schraubverbindung so auslegbar ist, daß Risiken hinsichtlich einer Lockerung bzw. eines Lösen der Schraubverbindung unter Betriebslast besser auszuschließen sind. Das Einsatzgebiet der Erfindung erstreckt sich hierbei nicht nur auf die Qualitätssicherung, sondern auch z.B. auf Wareneingangskontrolle und Forschung und Entwicklung, vorzugsweise in der Automobilindustrie.

[0016] Erfindungsgemäß bevorzugt zeichnet sich ein Kraft/Moment-Aufnehmer, welcher eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse aufweist, auf der wenigstens eine Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung und wenigstens eine Meßstelle für die von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, dadurch aus, daß die Mittel zur Entkopplung der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wenigstens teilweise die Druckspannungen in der Einspannhülse aufheben beziehungsweise die Torsionsspannungen kanalisieren.

[0017] Zur Entkopplung der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wird beispielsweise vorgeschlagen, daß wenigstens ein benachbart zu dieser in der zentralen Einspannhülse eingebrachter und sich zu deren Längsachse quer, vorzugsweise etwa rechtwinklig, erstreckender Entlastungsschlitz vorgesehen ist, welcher in vorteilhafter Weise wenigstens teilweise die Druckspannungen in der Einspannhülse aufhebt.

[0018] Die Entkopplung kann vorzugsweise dadurch verstärkt werden, daß zusätzlich zum Entlastungsschlitz wenigstens eine, benachbart zur entkoppelten Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung in der zentralen Einspannhülse eingebrachte und sich zu deren Längsachse in etwa parallel erstreckende im wesentlichen rechteckförmige Entlastungsausnehmung vorgesehen ist.

[0019] Eine weitere Steigerung der Entkopplungswir-

kungen wird vorzugsweise dadurch erreicht, daß ein zweiter Entlastungsschlitz benachbart zur Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung vorgesehen ist, welcher im wesentlichen parallel zum ersten Entlastungsschlitz angeordnet ist, wobei wie bei Längsseiten eines Rechteckes die Länge der Entlastungsschlitze größer als ihr Abstand voneinander ist, vorzugsweise wenigstens eineinhalb mal so groß, insbesondere doppelt so groß, so daß zwischen den Entlastungsschlitzen ein stegförmiger Abschnitt ausgebildet ist.

[0020] Zur Vergrößerung der Torsionsverformung im Bereich der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wird vorgeschlagen, daß der stegförmige Abschnitt eine geringere Wandstarke bzw. Materialdicke  $d$  aufweist als die übrige Wandstarke  $D$  der zentralen Einspannhülse.

[0021] Zur gezielten Übertragung bzw. Einleitung der Torsionsspannung in den stegförmigen Abschnitt wird vorgeschlagen, daß wenigstens ein Entlastungsschlitz und wenigstens eine Entlastungsausnehmung, vorzugsweise zwei sich gegenüberliegende Entlastungsausnehmungen, in etwa rechtwinklig so zueinander berührungsfrei angeordnet sind, daß dazwischen eine schmale Zunge, vorzugsweise zwei schmale Zungen, ausgebildet sind, die den stegförmigen Abschnitt mit der übrigen Einspannhülse verbinden, wobei die schmalen bzw. dünnen Zungen in vorteilhafter Weise durch die Entlastungsausnehmungen von den Einflüssen einer von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung maximal befreit sind.

[0022] In einer einfachsten Ausführungsform sind die der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zugewandten Seiten der Entlastungsausnehmungen vorzugsweise als Gerade ausgebildet.

[0023] Zur Vergrößerung der Torsionsverformung im Bereich der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung ggf. unter Beibehaltung der Materialdicke  $D$  wird vorgeschlagen, daß die der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zugewandten Seiten der Entlastungsausnehmungen so erweitert ausgebildet sind, daß der stegförmige Abschnitt wenigstens im Bereich der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung eine lokale Einschnürung aufweist, wobei vorzugsweise die seitliche Erweiterung der Entlastungsausnehmungen im mittleren Bereich der der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zugewandten Seiten der Entlastungsausnehmungen ausgebildet und kreissegmentförmig oder dreieckförmig oder einer sonstigen geometrischen Form nachgebildet ist.

[0024] Erfindungsgemäß bevorzugt sind auf der zentralen Einspannhülse die Meßstelle zur Ermittlung einer von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung und die hiervon mechanisch entkoppelte Meßstelle zur Ermittlung einer vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhän-

gigen Torsionsspannung wechselnd und gleichmäßig voneinander beabstandet, vorzugsweise jeweils zwei paar Meßstellen wechselnd und unter einem Winkel von 90° zueinander, angeordnet.

[0025] Eine alternative Formgebung eines Kraft/Moment-Aufnehmers mit einer torsions- und druckelastischen zylindrischen zentralen Einspannhülse, auf der lediglich die Meßstellen für die von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet sind, zeichnet sich erfindungsgemäß bevorzugt dadurch aus, daß die Meßstellen für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung auf einer äußeren Hülse, welche die zentrale Einspannhülse koaxial umschließt, angeordnet sind, die über Mittel zur zusätzlichen mechanischen Entkopplung der Meßstellen für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung von der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung mit der zentralen Einspannhülse insbesondere spielfrei verbunden ist, wobei die Mittel in vorteilhafter Weise druckelastisch und torsionssteif sind.

[0026] Zur mechanischen Entkopplung wenigstens einer auf der äußeren Hülse angeordneten Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung und der zentralen Einspannhülse, an der die Kräfte und Momente primär angreifen, und die an ihrem einen Stirnende einen ersten, vorzugsweise zylindrischen, Flansch und am gegenüberliegenden Stirnende einen zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen, Flansch aufweist, ist erfindungsgemäß bevorzugt zwischen der äußeren Hülse und der zentralen Einspannhülse wenigstens eine druckelastische torsionssteife kreisförmige Membrane angeordnet.

[0027] Zur druckelastischen und torsionssteifen Halterung der äußeren Hülse an der zentralen Einspannhülse wird vorgeschlagen, daß die äußere Hülse ein beidseitig offener Zylinder ist, dessen beide Enden jeweils einen Innenflansch aufweisen, wobei zwischen sich gegenüberliegenden Flanschen von zentraler Einspannhülse und äußerer Hülse jeweils eine kreisförmige Membrane angeordnet ist.

[0028] Alternativ hierzu weist die äußere Hülse eine vorzugsweise topfartige Form auf, mit einem benachbart zur Außenkante ihrer offenen Seite angeformten Innenflansch und einer kreisförmigen Bodenplatte mit einem Loch, durch das sich die zentrale Einspannhülse hindurch erstreckt, so daß bodenseitig die äußere Hülse über die Bodenplatte am zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen, Flansch der zentralen Einspannhülse und an ihrer offenen Seite über eine zwischen den sich gegenüberliegenden Flanschen von zentraler Einspannhülse und äußerer Hülse angeordnete kreisförmige Membrane druckelastisch und torsionssteif gehalten ist.

[0029] Zur Minimierung eines Übersprechens der von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung in eine Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wird vorgeschlagen, daß

die kreisförmige Membrane wenigstens eine umlaufende Sicke aufweist.

[0030] Alternativ zu einer Membrane wird vorgeschlagen, daß zur mechanischen Entkopplung der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zwischen der äußeren Hülse und der zentralen Einspannhülse wenigstens ein druckelastischer torsionssteifer Balg oder Kompensator vorgesehen ist, welcher vorzugsweise zwischen dem ersten, vorzugsweise zylindrischen, Flansch und der auf der äußeren Hülse angeordneten Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung angeordnet ist.

[0031] Alternativ zur einer Membrane oder einem ersten Balg bzw. Kompensator wird vorgeschlagen, daß ein zweiter druckelastischer torsionssteifer Balg oder Kompensator vorgesehen ist, der vorzugsweise zwischen der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung und einer mit dem zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen, Flansch verbundenen kreisförmigen Plane angeordnet ist.

[0032] Zur Minimierung eines Übersprechens der von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung in eine Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wird vorgeschlagen, daß der oder die Bälge oder Kompensatoren wenigstens eine umlaufende Welle aufweisen.

[0033] Äußere Hülse, Membran, Balg bzw. Kompensator und/oder zentrale Einspannhülse sind vorzugsweise durch bekannte Verbindungstechniken, insbesondere durch Verschrauben und/oder Verschweißen, miteinander starr bzw. spielfrei verbindbar.

[0034] Eine weitere mechanische Entkopplung der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung von der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung erfolgt erfindungsgemäß bevorzugt durch geeignete Wahl einer geometrischen Anordnung der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung auf der äußeren Hülse, insbesondere durch Wahl einer Länge  $L$  des Meßstellenbereiches für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung auf der äußeren Hülse, eines Radius  $R$  der äußeren Hülse, und einer Stärke  $d$  der äußeren Hülse (17) im Bereich der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung, wobei zur Vergrößerung einer Torsionsverformung die Wandstärke  $d$  der äußeren Hülse im Bereich der Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung vorzugsweise geringer ist als die übrige Wandstärke  $D$  der äußeren Hülse.

[0035] Zur Erhöhung der Meßempfindlichkeit der auf der äußeren Hülse angeordneten Meßstellen für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wird vorgeschlagen, daß die äußere Hülse zusätzlich radiale Bohrungen aufweist.

[0036] Alternativ und/oder kumulativ wird vorgeschlagen, daß benachbart zu der auf der äußeren Hülse



angeordneten Meßstelle wenigstens ein Entlastungsschlitz und/oder wenigstens eine Entlastungsausnehmung analog einer der Ansprüche 3 bis 10 vorgesehen ist.

[0037] Erfindungsgemäß bevorzugt sind die Meßstellen zur Ermittlung einer von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung auf der zentralen Einspannhülse und die hiervon mechanisch entkoppelte Meßstelle zur Ermittlung einer vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung auf der äußeren Hülse relativ zueinander wechselnd, vorzugsweise paarweise wechselnd, d. h. vorzugsweise jeweils zwei Paar Meßstellen wechselnd und unter einem Winkel von 90° relativ zueinander, angeordnet.

[0038] Zur Platzierung von geeigneten Dehnungsmeßstreifen in die Meßstellen für eine von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung wird vorgeschlagen, daß die äußere Hülse jeweils über den auf der zentralen Einspannhülse angeordneten Meßstellen für die von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung eine Ausnehmung aufweist, die in ihren Maßen jedenfalls so bemessen ist, daß die Dehnungsmeßstreifen auf der zentralen Einspannhülse platziert werden können und dennoch eine Weiterleitung bzw. Einleitung der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung in die dafür vorgesehene Meßstelle auf der äußeren Hülse gewährleistet ist.

[0039] Ein erfindungsgemäß bevorzugter alternativer Kraft/Moment-Aufnehmer mit einer torsions- und druckelastischen zylindrischen zentralen Einspannhülse, auf der lediglich die Meßstellen für die von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet sind, wobei die zentrale Einspannhülse an ihrem einen Stirnende einen ersten, vorzugsweise zylindrischen, Flansch und am gegenüberliegenden Stirnende einen zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen Flansch aufweist, zeichnet sich in vorteilhafter Weise dadurch aus, daß am zweiten Flansch zwei diametral angeordnete Verbindungsarme einstückig angeformt sind, an denen eine äußere zylindrische Hülse so angeordnet ist, daß eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung so über eine druckelastische torsionssteife Membran und/oder wenigstens einen Balg oder Kompensator sowie über die äußere Hülse auf die Verbindungsarme einwirkt, daß auf wenigstens einem Verbindungsarm in wenigstens einer Meßstelle mit geeigneten Dehnungsmeßstreifen eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Biegespannung meßbar ist.

[0040] Dabei zeichnet sich die äußere Hülse mit einer einfachen Bauweise insbesondere dadurch aus, daß die äußere Hülse in allen Bereichen vorzugsweise eine in etwa gleichmäßige Materialdicke  $D$  aufweist.

[0041] Die Kraft/Moment-Aufnehmer nach der Erfindung mit einer torsions- und druckelastischen zylindrischen zentralen Einspannhülse, die drehbar in einem Gehäuse abgestützt ist, wobei die Abstützung der Einspannhülse im Gehäuse an einem Stirnende, vorzugs-

weise an dem Stirnende, an dem der zweite, vorzugsweise rechteckförmige, Flansch angeformt ist, über zwei diametral von der Einspannhülse abragende biegeelastische Arme erfolgt, zeichnen sich dadurch aus, daß auf den biegeelastischen Armen wenigstens eine, vorzugsweise jeweils eine, d. h. auf jedem Arm wenigstens eine Meßstelle für die vom Gesamtanzugsmoment  $M_A$  abhängige Biegespannung vorgesehen ist, was in vorteilhafter Weise gegenüber aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen ein erleichtertes Messen der vom Gesamtanzugsmoment  $M_A$  abhängigen Biegespannung darstellt.

[0042] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung werden anhand exemplarischer Ausführungsbeispiele und anhand der Zeichnung beschrieben:

[0043] Es zeigen:

Fig. 1 schematisiert eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse eines Kraft/Moment-Aufnehmers in perspektivischer Darstellung, auf der wenigstens eine Meßstelle für eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung und wenigstens eine Meßstelle für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist;

Fig. 2 schematisiert einen abgewinkelten Ausschnitt einer auf der zentralen Einspannhülse nach Fig. 1 angeordneten Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung;

Fig. 3 schematisiert einen insgesamt abgewinkelten Abschnitt der zentralen Einspannhülse nach Fig. 1 mit wechselnd angeordneten Meßstellen für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung und von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung;

Fig. 4 ein weiteres Ausführungsbeispiel wie in Fig. 2;

Fig. 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel wie in Fig. 2;

Fig. 6 schematisiert eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse eines Kraft/Moment-Aufnehmers, auf der wenigstens eine Meßstelle für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, und die von einer äußeren Hülse coaxial umgeben ist, auf der wenigstens eine Meßstelle für eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsi-

onsspannung angeordnet ist, welche durch eine druckelastische torsionssteife Membran entkoppelt ist;

Fig. 7 ein weiteres Ausführungsbeispiel wie in Fig. 6, wobei die Meßstelle für eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung durch zwei druckelastische torsionssteife Membranen entkoppelt ist;

Fig. 8 schematisiert eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse eines Kraft/Moment-Aufnehmers, auf der wenigstens eine Meßstelle für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, und die von einer äußeren Hülse koaxial so umgeben ist, daß eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung so über eine druckelastische torsionssteife Membran und über die äußere Hülse auf zwei Verbindungsarme einwirkt, daß insbesondere auf den Seitenflächen der Verbindungsarme in wenigstens einer Meßstelle eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Biegespannung meßbar ist;

Fig. 9 schematisiert eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse eines Kraft/Moment-Aufnehmers, auf der wenigstens eine Meßstelle für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, und die von einer äußeren Hülse koaxial umgeben ist, auf der wenigstens eine Meßstelle für eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung angeordnet ist, welche durch wenigstens einen druckelastischen torsionssteifen Balg oder Kompensator entkoppelt ist; und

Fig. 10 schematisiert eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse eines Kraft/Moment-Aufnehmers, auf der wenigstens eine Meßstelle für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, und die von einer äußeren Hülse koaxial so umgeben ist, daß eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung so über wenigstens einen druckelastischen torsionssteifen Balg bzw. Kompensator und über die äußere Hülse auf zwei Verbindungsarme einwirkt, daß insbesondere auf den Seitenflächen der Verbindungsarme in wenigstens einer Meßstelle eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Biegespannung meßbar ist.

[0044] Fig. 1 zeigt schematisiert eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse 7 eines Kraft/Moment-Aufnehmers 1 in perspektivischer Darstellung, auf der wenigstens eine Meßstelle 5 für eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung und wenigstens eine Meßstelle 6 für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet sind. Die zentrale Einspannhülse 7 weist zwei Stirnenden auf. An einem Stirnende ist ein erster, vorzugsweise ein kreisförmiger bzw. zylindrischer Flansch 22 mit einer Durchgangsöffnung 30 zur Einführung eines Schraubenbolzens 2 angeformt. Am anderen Stirnende ist ein zweiter, vorzugsweise ein rechteckförmiger, Flansch 23 mit zwei diametral vom Umfang abragenden, biegeelastischen Armen 28, 29 angeformt, die einstückig am zweiten Flansch 23 angeformt sind. Flansch 23 besitzt, ebenso wie der erste Flansch 22, in seinem Zentrum längsmittig eine Durchgangsöffnung 30, durch die das freie Ende 2a des Schraubenbolzens 2 so geführt und mit einer Mutter 3 fest verschraubt wird, daß der Schraubenkopf 2b des Schraubenbolzens 2 am ersten Flansch 22 anliegt. Zur Aufnahme von radialen Kräften ist der erste, vorzugsweise zylindrische, Flansch 22 in einem nicht dargestellten äußeren Gehäuse wälzgelagert. Über den zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen, Flansch 23 wird das gesamte, beim Anziehen der Schraubverbindung (2, 3) aufgebrachte Anzugsmoment  $M_A$  über die beiden biegeelastischen Arme 28, 29 ebenfalls in das Gehäuse abgeleitet.

[0045] Für die Messung einer von Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung ist, etwas vergrößert dargestellt, auf der zentralen Einspannhülse 7 wenigstens eine Meßstelle 5 vorgesehen. Bevorzugt sind zwei gleichartige, um 180° gegeneinander auf dem Umfang der Einspannhülse 7 versetzt angeordnete Meßstellen 5 für eine Messung der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung vorgesehen. Die dazu in einer Meßstelle 5 angeordneten Dehnungsmeßstreifen 50 sind in einem Winkel von 90° zueinander versetzt angeordnet. Zur Längsachse 8 der Einspannhülse 7 beträgt der Winkel der Dehnungsmeßstreifen 50 jeweils 45°.

[0046] Eine weitere Meßstelle 6 dient der Messung einer von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung und ist ebenfalls auf der zentralen Einspannhülse 7 angeordnet. In der Meßstelle 6 sind zwei Dehnungsmeßstreifen 60 angeordnet, wobei ein Dehnungsmeßstreifen parallel und der andere quer zur Längsachse 8 der zentralen Einspannhülse 7 angeordnet ist.

[0047] Für die Messung einer vom Gesamtanzugsmoment  $M_A$  abhängigen Biegespannung ist auf den beiden vorzugsweise quaderförmig ausgebildeten biegeelastischen Armen 28, 29 wenigstens eine Meßstelle 4 vorgesehen, die zwei Dehnungsmeßstreifen 40 umfaßt, die wie die Dehnungsmeßstreifen 60 zueinander und zur Längsachse 8 der zentralen Einspannhülse 7 ausge-

richtet sind.

[0048] Vorzugsweise sind jeweils immer wenigstens zwei Paar Dehnungsmeßstreifen 40, 50, 50a, 60 so angeordnet, daß eine Wheatstonesche Meßbrücke ausbildbar ist.

[0049] Zur maximalen bzw. vollständigen Entkopplung von Einflüssen der von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung auf eine Meßstelle 5 der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannungen wird erfindungsgemäß die Meßstelle 5, 5a für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung durch mechanische Mittel von einem Einfluß der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung entkoppelt.

[0050] Nach Fig. 1 wird die mechanische Entkopplung insbesondere durch in die zentrale Einspannhülse 7 eingebrachte Entlastungsschlitz 9, 10 bzw. Entlastungsausnehmungen 11, 12 erreicht. Die Entlastungsschlitz 9, 10 sind auf der zentralen Einspannhülse 7 quer zur Längsachse 8 der Einspannhülse 7 eingebracht. Die Länge der Entlastungsschlitz 9, 10 ist bevorzugt größer als ihr Abstand voneinander, vorzugsweise eineinhalbmal so groß, insbesondere doppelt so groß wie ihr Abstand voneinander. Durch die Entlastungsschlitz 9, 10 wird, wie schematisiert und ausschnittsweise vergrößert in Fig. 2 mit einem abgewinkelten Ausschnitt einer auf der zentralen Einspannhülse 7 nach Fig. 1 angeordneten Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung dargestellt, ein stegförmiger Abschnitt 13, auch als Steg 13 bezeichnet, gebildet, auf dem mittig die Meßstelle 5 mit den Dehnungsmeßstreifen 50 angeordnet ist. Die Entlastungsschlitz 9, 10 heben die Spannungsverläufe in der zylindrischen Einspannhülse 7 wenigstens teilweise auf bzw. kanalisieren diese. Insbesondere eine Stauchung (Druckspannung) der zentralen Einspannhülse 7 durch die axiale Vorspannkraft  $F_V$  wird durch die Entlastungsschlitz 9, 10 maximal bzw. vollständig im Bereich der Meßstelle 5 aufgefangen. Eine Scherung (Torsionsspannung) der zylindrischen Oberfläche der zentralen Einspannhülse 7 durch eine Umfangskraft  $M_K/R$ , in Fig. 2 überproportional dargestellt und zusätzlich mittels einer gestrichelten Linie gekennzeichnet, wird maximal bzw. vollständig auf den Steg 13 und damit ungemindert auf die dort angeordneten Dehnungsmeßstreifen 50 übertragen. Ein Übersprechen der Vorspannkraft  $F_V$  in die Meßstelle 5 für das Kopfreibungsmoment  $M_K$  wird so zuverlässig ausgeschaltet.

[0051] Angriffspunkte bzw. Wirkrichtungen der Kräfte und Momente, insbesondere  $F_V$ ,  $M_A$  und  $M_K$ , sind in den Fig. 1 bis 9 schematisch durch Pfeile gekennzeichnet.

[0052] Fig. 3 zeigt, wie die Meßstellen 5 und 6 auf der zentralen Einspannhülse 7 vorzugsweise angeordnet sein können. Darin ist schematisiert ein insgesamt abgewinkelter Abschnitt der zentralen Einspannhülse 7 nach Fig. 1 mit wechselnd angeordneten Meßstellen 5, 6 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Tor-

sionsspannung und von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung dargestellt. Vorzugsweise werden je zwei gleichartige Meßstellen 5, 6 um jeweils 180° gegeneinander versetzt auf dem Umfang der zentralen Einspannhülse 7 angeordnet. Während auf die Meßstelle 6 die von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung ungemindert wirken kann, ist die Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung durch die Entlastungsschlitz 9, 10 hinsichtlich der Vorspannkraft  $F_V$  entlastet. Die Scherung (Torsionsspannung) in der Einspannhülse 7 wird unvermindert auf den Steg 13 zwischen den Entlastungsschlitz 9, 10 und damit auf die Meßstelle 5 übertragen. Da der durch die Entlastungsschlitz 9, 10 bestimmte Anteil des Gesamtquerschnittes nicht mehr zum Tragen der Vorspannkraft  $F_V$  zur Verfügung steht, ist bei dieser und den folgenden Ausgestaltungen nach der Erfindung die Wandstärke  $D$  der zentralen Einspannhülse 7 entsprechend so ausgelegt, daß eine Überlastung vermieden ist. Um die Torsionsverformung an der Meßstelle 5 für das Kopfreibungsmoment  $M_K$  gegenüber Ausführungen nach dem Stand der Technik zu vergrößern, wird erfindungsgemäß bevorzugt die Wandstärke  $D$  im Bereich des Steges 13 gezielt auf eine Wandstärke  $d$  vermindert. Dies ist auch deshalb möglich, weil an dieser Stelle eben keine Belastung durch die Vorspannkraft  $F_V$  auftritt. Eine solche Verminderung der Wandstärke  $D$  kann beispielsweise durch Fräsen, Schleifen oder funkenerosives Abtragen erfolgen, so daß im Bereich des Steges 13 bzw. der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung eine Abflachung der im übrigen zylindrischen Einspannhülse 7 oder sogar eine Tasche entsteht. Die Entlastungsschlitz 9, 10 sind beispielsweise ebenfalls durch Fräsen oder funkenerosives Sägen herstellbar.

[0053] In Fig. 4 ist ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel nach der Erfindung dargestellt. Zur mechanischen Entkopplung der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung von der von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung dient hier, wie dargestellt, wenigstens ein Entlastungsschlitz 9. Zur gezielten Übertragung der Scherung (Torsionsspannung) auf den Steg 13 dienen zwei dünne Zungen 14, 15, die bei wechselnder Drehrichtung einer vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung abwechselnd auf Zug und Druck beansprucht werden. Der Steg 13 für die Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wird durch zwei rechteckförmige Entlastungsausnehmungen 11, 12 begrenzt, die etwa rechtwinklig zur Längserstreckung des Entlastungsschlitzes 9 angeordnet sind und die dünnen Zungen 14, 15 bilden. Die dünnen Zungen 14, 15 sind durch die Entlastungsausnehmungen 11, 12 von den Einflüssen der von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung maximal befreit. In diesem Ausführungsbeispiel sind die der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmo-

ment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zugewandten Seitenwandungen der Entlastungsausnehmungen 11, 12 als Geraden ausgeführt, und die Seitenwandungen bilden dabei den Steg 13, dessen Wandstärke  $d$  im Bereich der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung geringer ausgeführt ist als die übrige Wandstärke  $D$  der zentralen Einspannhülse 7.

[0054] Die Vergrößerung der Torsionsverformung an der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung kann gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 zusätzlich durch eine lokale Einschnürung 16 im mittleren Bereich des Steges 13, evtl. unter Beibehaltung der Materialstärke  $D$  erreicht werden, wobei die lokale Einschnürung 16 durch vorzugsweise halbkreisförmige Erweiterungen im mittleren Bereich der der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zugewandten Seitenwand der Entlastungsausnehmungen 11, 12 gebildet wird. Die der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung abgewandten Seiten erstrecken sich vorzugsweise nicht über die Länge des Entlastungsschlitzes 9 bzw. 10.

[0055] Schließlich ist eine Kombination der bisherigen Ausführungen möglich, welche allesamt Maßnahmen zur wenigstens teilweisen lokalen Aufhebung insbesondere der Druckspannungsverläufe in der zentralen Einspannhülse 7 aufzeigen, wobei die Meßstellen 5 und 6 auf der zentralen Einspannhülse 7 angeordnet sind.

[0056] In den folgenden Ausführungsbeispielen sind lediglich die Meßstellen 6 zur Messung einer von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung auf der zentralen Einspannhülse 7 angeordnet.

[0057] Fig. 6 zeigt schematisiert eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse 7 eines Kraft/Moment-Aufnehmers 1, auf der wenigstens eine Meßstelle 6 für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, und die von einer äußeren Hülse 17 coaxial umgeben ist, auf der wenigstens eine Meßstelle 5 für eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung angeordnet ist, welche durch eine druckelastische torsionssteife Membran 18 entkoppelt ist; die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wird also auf einer äußeren Hülse 17 gemessen. Die Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung ist dazu von Einflüssen der von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung über wenigstens eine Membran 18 weitgehend entkoppelt.

[0058] Die Lagerung bzw. Abstützung der torsions- und druckelastischen zentralen Einspannhülse 7 erfolgt wie oben zu Fig. 1 beschrieben in einem nicht dargestellten Gehäuse. Die Messung einer vom Gesamtanzugsmoment  $M_A$  abhängigen Biegespannung erfolgt ebenfalls auf den biegeelastischen Armen 28, 29, die einstückig am zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen,

Flansch 23 der zentralen Einspannhülse 7 angeformt sind. Die äußere Hülse 17 weist im Ausführungsbeispiel nach Fig. 6 eine topfartige Form auf mit einem benachbart zur Außenkante 33 ihrer offenen Seite angeformten Innenflansch 24 und einer kreisförmigen Bodenplatte 26 mit einem Loch 27, durch das sich die zentrale Einspannhülse 7 hindurch erstreckt, so daß bodenseitig die äußere Hülse 17 über die Bodenplatte 26 am rechteckförmigen Flansch 23 der zentralen Einspannhülse 7 und an ihrer offenen Seite über eine zwischen den Flanschen 22, 24 angeordnete kreisförmige Membrane 18 druckelastisch und torsionssteif gehalten ist.

[0059] Der Durchmesser des Lochs 27 in der Bodenplatte 16 ist größer als derjenige der zentralen Einspannhülse 7 und kleiner als die Kantenlänge des zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen, annähernd quadratischen, Flansches 23. An ihrer, den biegeelastischen Armen 28, 29 zugewandten Seite stützt sich die Bodenplatte 26 der äußeren Hülse 17 am Flansch 23 ab und bildet im Auflagebereich eine insbesondere spielfreie Verbindung. Über diese Verbindung wird die Meßgröße bzw. der Meßwert für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung in die Meßstelle 4 für das Gesamtanzugsmoment  $M_A$  abgeleitet. Das Gesamtmoment stützt sich also nicht über die zentrale Einspannhülse 7 ab, sondern wird an ihr vorbei direkt über die beiden biegeelastischen Arme 28, 29 in das Gehäuse abgeleitet. Im Bereich der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung weist die äußere Hülse 17 eine geringere Dicke  $d$  auf, als in dem Bereich, der sich von der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wegerstreckt.

[0060] Schließlich weist die kreisförmige Membrane 18 wenigstens eine umlaufende Sicke 19 auf, die ein Übersprechen der Vorspannkraft  $F_V$  in die Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung weitgehend minimiert.

[0061] Alternativ zu einer Bodenplatte 26 kann, wie in Fig. 7 ersichtlich, eine zweite druckelastische torsionssteife kreisförmige Membrane 18 zwischen der äußeren Hülse 17 und Flansch 23 angebracht sein, die sich wie ein Deckel zwischen einem kreisförmigen, an der äußeren Hülse 17 angeformten, Innenflansch 25 und dem zweiten Flansch 23 erstreckt.

[0062] Eine weitere mechanische Entkopplung der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung von der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung erfolgt erfindungsgemäß bevorzugt durch geeignete Wahl einer geometrischen Anordnung der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung auf der äußeren Hülse 17, insbesondere durch Wahl einer Länge  $L$  des Meßstellenbereiches 5 auf der äußeren Hülse 17, eines Radius  $R$  der äußeren Hülse 17, und einer Stärke  $d$  der äußeren Hülse 17 im Bereich der Meßstelle 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung, so daß der Ein-

fluß von Scherungen (Torsionsspannungen) an den Meßstellen 6 für die von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung auf der inneren Einspannhülse 7 erheblich minimierbar ist.

[0063] Zusätzlich zur Verminderung der Materialdicke  $D$  im Bereich der Meßstellen 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung auf der äußeren Hülse 17 kann die Empfindlichkeit der Meßstellen 5 für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung durch beispielsweise radiale Bohrungen oder durch Entlastungsschlitz 9, 10 bzw. Entlastungsausnehmungen 11, 12 wie in der Beschreibung zu den Fig. 1 - 5 weiter oben erörtert wurde, erhöht werden.

[0064] Auch im Ausführungsbeispiel nach Fig. 8 wird die von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung auf der zentralen Einspannhülse 7 gemessen. Schematisiert zeigt Fig. 8 eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse 7 eines Kraft/Moment-Aufnehmers 1, auf der wenigstens eine Meßstelle 6 für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, und die von einer äußeren Hülse 17 koaxial so umgeben ist, daß eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung so über eine druckelastische torsionssteife Membran und über die äußere Hülse 17 auf zwei Verbindungsarme 31, 32 einwirkt, daß insbesondere auf den Seitenflächen der Verbindungsarme 31, 32 in wenigstens einer Meßstelle 5a eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Biegespannung meßbar ist. Die Entkopplung der Meßstellen 5a, 6 voneinander erfolgt über eine zwischen den Flanschen 22, 24 angeordnete Membrane 18, die eine umlaufende Sicke 19 hat. Die äußere Hülse 17 ist als beidseitig offener Zylinder ausgebildet und weist über ihre gesamte Axiallänge eine gleichmäßige Materialdicke  $D$  auf, d.h. die äußere Hülse 17 dient wie die Membrane 18 nur noch zur Übertragung der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung. Am rechteckförmigen Flansch 23 sind zusätzlich zu den biegeelastischen Armen 28, 29 an den Seitenwänden 34 die einstückigen Verbindungsarme 31, 32, die sich in ihrer Länge und/oder ihrer Dicke von den biegeelastischen Armen 28, 29 unterscheiden können, angeformt. Durch geeignete Festlegung der Länge und der Dicke der Verbindungsarme 31, 32 kann die Empfindlichkeit der Meßstelle 5a für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Biegespannung optimal ausgelegt werden. An ihrer den Verbindungsarmen 31, 32 zugewandten Seite ist die äußere Hülse 17 mit den Armen 31, 32 des Flansches 23, insbesondere spielfrei, verbunden, beispielsweise durch Verschrauben und/oder Verschweißen. Die Dehnungsmeßstreifen 50a in der Meßstelle 5a sind wie die Dehnungsmeßstreifen 40 und 60 zueinander und zur Längsachse 8 der zentralen Einspannhülse 7 angeordnet. Die Messung des Kopfreibungsmomentes  $M_K$  erfolgt somit auf den auf Biegung beanspruchten Verbindungsarmen 31, 32 des zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen, Flan-

sches 23. Das gesamte, beim Anziehen der Schraubverbindung aufgebrachte Anzugsmoment  $M_A$  wird wiederum auf den biegeelastischen Armen 28, 29 in den Meßstellen 4 gemessen und über die biegeelastischen Arme 28, 29 in ein nicht dargestelltes Gehäuse abgeleitet.

[0065] Fig. 9 zeigt schematisiert eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse 7 eines Kraft/Moment-Aufnehmers 1, auf der wenigstens eine Meßstelle 6 für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, und die von einer äußeren Hülse 17 koaxial umgeben ist, auf der wenigstens eine Meßstelle 5 für eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung angeordnet ist, welche durch wenigstens einen druckelastischen torsionssteifen Balg oder Kompensator 20, 35 mechanisch entkoppelt ist. Dazu weist der Balg oder Kompensator 20, 35 wenigstens eine Welle 21 auf.

[0066] Ein erster, an sich bekannter Balg bzw. Kompensator 20 mit wenigstens einer Welle 21 ist im Ausführungsbeispiel nach Fig. 9 zwischen dem Flansch 22 und der äußeren Hülse 17 formschlüssig angebracht. Ein zweiter Balg bzw. Kompensator 35 mit wenigstens einer Welle 21 verbindet die äußere Hülse 17 über eine Boden 36 mit dem rechteckförmigen Flansch 23. Die Verbindung erfolgt formschlüssig, wobei die formschlüssige Verbindung beispielsweise durch Verschrauben, Verkleben, Verkeben oder Verschweißen hergestellt sein kann. Der erste, vorzugsweise zylindrische, Flansch 22 ist aus Montagegründen in diesem Ausführungsbeispiel nicht einstückig an die zentrale Einspannhülse 7 angeformt, sondern wird auf die zentrale Einspannhülse 7 aufgesteckt. Die Steckverbindung kann sowohl lose ausgebildet als auch beispielsweise verschraubt sein. Zum Messen der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung ist auf der äußeren Hülse 17 eine Meßstelle 5 angeordnet.

[0067] Fig. 10 zeigt schematisiert eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse 7 eines Kraft/Moment-Aufnehmers 1, auf der wenigstens eine Meßstelle 5a für eine von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, wobei diese von einer äußeren Hülse 17 koaxial so umgeben ist, daß eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung so über wenigstens einen druckelastischen torsionssteifen Balg bzw. Kompensator 20, 35 und über die äußere Hülse 17 auf zwei Verbindungsarme 31, 32 einwirkt, daß in wenigstens einer Meßstelle 5a eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Biegespannung meßbar ist.

[0068] Ein erster an sich bekannter Balg bzw. Kompensator 20 mit wenigstens einer Welle 21 ist wie im Ausführungsbeispiel nach Fig. 9 zwischen dem ersten Flansch 22 und der äußeren Hülse 17 formschlüssig angebracht. Ein zweiter Balg bzw. Kompensator 35 mit wenigstens einer Welle 21 verbindet die äußere Hülse 17 direkt mit am zweiten Flansch 23 einstückig ange-

formten Verbindungsarmen 31, 32. Die Verbindung erfolgt formschlüssig, wobei die formschlüssige Verbindung beispielsweise durch Verschrauben, Verklemmen, Verkleben oder Verschweißen hergestellt sein kann. Der zylindrische Flansch 22 ist gleichfalls, wie in Fig. 9 beschrieben, aufsteckbar ausgeführt. Zum Messen der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung ist auf den beiden um  $180^\circ$  versetzt angeordneten Verbindungsarmen 31, 32 wenigstens eine Meßstelle 5a, vorzugsweise jeweils eine Meßstelle 5a zum Messen der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Biegespannung angeordnet.

[0069] Zu den Ausführungsbeispielen gemäß der Figuren 6 bis 10 sei noch angemerkt, daß insbesondere durch geeignete Gestaltung der zentralen Einspannhülse 7, der Membran 18, des Balgs bzw. Kompensators 20, 35 und/oder der äußeren Hülse 17 das Verhältnis des von der Vorspannkraft  $F_V$  bzw. Druckspannung abhängige Übersprechsignals (Störgröße) zu dem Meßsignal (Nutzgröße) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsions- bzw. Biegespannung so beeinflussbar ist, daß das Verhältnis hinreichend klein wird. Zudem ist durch geeignete Gestaltung insbesondere der zentralen Einspannhülse 7 und der äußeren Hülse 17 das Verhältnis der Meßsignale (Nutzgrößen) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsions- bzw. Biegespannung und für die von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung so beeinflussbar, daß beispielsweise in etwa gleich hohe Meßsignale (Nutzgrößen) erreichbar sind.

[0070] Die besonderen Formgebungen eines Kraft/Moment-Aufnehmers 1 nach den erfindungsgemäß bevorzugten Ausführungsbeispielen erlauben in vorteilhafter Weise die Bestimmung des Gesamtanzugsmoments  $M_A$ , des Kopfreibungsmoments  $M_K$  und der Vorspannkraft  $F_V$ , wie sie in internationalen Normen und Hausnormen beispielsweise der wichtigsten Automobilhersteller gefordert werden. Zudem ist mit einer Meßvorrichtung nach der Erfindung das naturgemäß schwierig genau zu messende Kopfreibungsmoment  $M_K$  mit einer erhöhten Meßgenauigkeit erfaßbar und normgerecht auswertbar. Dadurch ist auch das Gewindereibungsmoment  $M_G$  genauer bestimmbar und eine besser gesicherte Aussage über Qualität und Zuverlässigkeit der Schraubverbindung 2, 3 ermöglicht.

[0071] Mittels zusätzlicher Soft- und Hardware können als Ergebnisse Reibungskoeffizienten, Protokolle und gegebenenfalls Kurven und Tabellen ausgegeben werden. Schraubenhersteller können so mit vorhandener Software schnell und ohne Umrüstung verschiedenartige Schraubenbolzen 2 nach unterschiedlichen Normen prüfen und die Protokolle ihren Kunden mitteilen.

[0072] Die Erfindung eignet sich vorzugsweise für einen Einsatz in der Qualitätssicherung, insbesondere in der Automobilindustrie. Überschraubmomente von selbsthemmenden Muttern 3 sind ein weiteres Anwendungsgebiet, ebenso Wareneingangskontrolle und For-

schung und Entwicklung.

#### Bezugszeichenliste

|        |   |  |
|--------|---|--|
| 5      | [0073]  |  |
| 1      | Kraft/Moment-Aufnehmer  |  |
| 2      | Schraubenbolzen   |  |
| 2a     | freie Ende des Schraubenbolzens 2   |  |
| 10     | 2b  | Kopf des Schraubenbolzens 2  |
| 3      | Mutter  |  |
| 4      | Meßstelle für die vom Gesamtanzugsmoment $M_A$ abhängige Biegespannung                      |  |
| 5      | Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment $M_K$ abhängige Torsionsspannung                   |  |
| 15     | 5a  | Meßstelle für die vom Kopfreibungsmoment $M_K$ abhängige Biegespannung                             |
| 6      | Meßstelle für die von der axialen Vorspannkraft $F_V$ abhängige Druckspannung               |  |
| 20     | 7   | zentrale Einspannhülse   |
| 8      | Längsachse der Einspannhülse 7  |  |
| 9, 10  | Entlastungsschlitz  |  |
| 11, 12 | Entlastungsausnehmung   |  |
| 13     | Steg  |  |
| 25     | 14, 15  | Zunge  |
| 16     | Einschnürung  |  |
| 17     | äußere Hülse  |  |
| 18     | Membran   |  |
| 19     | Sicke der Membran 18  |  |
| 30     | 20, 35  | Balg bzw. Kompensator  |
| 21     | Welle des Balgs 20, 35 bzw. Kompensators 20, 35   |  |
| 22     | erster, vorzugsweise zylindrischer, Flansch der zentralen Einspannhülse 7                   |  |
| 35     | 23  | zweiter, vorzugsweise rechteckförmiger, Flansch der zentralen Einspannhülse 7                      |
| 24, 25 | Innenflansche der äußeren Hülse 17  |  |
| 26     | Bodenplatte   |  |
| 27     | Loch  |  |
| 40     | 28, 29  | biegeelastische Arme   |
| 30     | Durchgangsöffnung   |  |
| 31, 32 | Verbindungsarme   |  |
| 33     | Außenkante der äußeren Hülse 17   |  |
| 34     | Seitenwände des rechteckförmigen Flansches 23   |  |
| 45     | 36  | Platte   |
| 40     | Dehnungsmeßstreifen zur Messung einer vom Gesamtanzugsmoment $M_A$ abhängigen Biegespannung |  |
| 50     | 50  | Dehnungsmeßstreifen zur Messung einer vom Kopfreibungsmoment $M_K$ abhängigen Torsionsspannung     |
| 50a    | Dehnungsmeßstreifen zur Messung einer vom Kopfreibungsmoment $M_K$ abhängigen Biegespannung |  |
| 55     | 60  | Dehnungsmeßstreifen zur Messung einer von der axialen Vorspannkraft $F_V$ abhängigen Druckspannung |



# Patentansprüche

1. Meßvorrichtung zur Bestimmung des Gesamtanzugsmoments  $M_A$ , des Kopfreibungsmoments  $M_K$  und der Vorspannkraft  $F_V$  einer angezogenen und in einem Kraft/Moment-Aufnehmer (1) gehaltenen Schraubverbindung (2, 3) durch Messung resultierender Spannungen, insbesondere:

- einer vom Gesamtanzugsmoment  $M_A$  abhängigen Biegespannung über wenigstens eine Meßstelle (4);
- einer vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung bzw. Biegespannung über wenigstens eine Meßstelle (5) bzw. (5a); sowie
- einer von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung über wenigstens eine Meßstelle (6);

mittels Dehnungsmeßstreifen (40, 50, 50a, 60), die an Kraft/Moment-Aufnehmer (1) so angeordnet sind, daß sie zumindest jeweils eine der Meßstellen (4, 5, 5a, 6) zur Bestimmung der von  $M_A$ ,  $M_K$  oder  $F_V$  abhängigen Spannungen bilden, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstellen (5, 5a) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung bzw. Biegespannung durch mechanische Mittel von einem Einfluß der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung entkoppelt ist.

2. Meßvorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Kraft/Moment-Aufnehmer (1) eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse (7) mit einer Längsachse (8) aufweist, auf der wenigstens eine Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung und wenigstens eine Meßstelle (6) für die von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Entkopplung der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wenigstens teilweise die Druckspannungen in der Einspannhülse (7) aufheben beziehungsweise die Torsionsspannungen kanalisieren.
3. Meßvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Entkopplung der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wenigstens ein benachbart zu dieser in der zentralen Einspannhülse (7) eingebrachter und sich zu dessen Längsachse (8) quer, vorzugsweise etwa rechtwinklig, erstreckender Entlastungsschlitz (9) vorgesehen ist.
4. Meßvorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch

gekennzeichnet, daß zur Entkopplung der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wenigstens eine benachbart zu dieser in der zentralen Einspannhülse (7) eingebrachte und sich zu dessen Längsachse (8) in etwa parallel erstreckende im wesentlichen rechteckförmige Entlastungsausnehmung (11) vorgesehen ist.

5. Meßvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Entlastungsschlitz (10) benachbart zur Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung vorgesehen ist, welcher im wesentlichen parallel zum ersten Entlastungsschlitz (9) angeordnet ist, wobei wie bei Längsseiten eines Rechteckes die Länge der Entlastungsschlitz (9, 10) größer als ihr Abstand voneinander ist, vorzugsweise wenigstens einhalb mal so groß, insbesondere doppelt so groß, so daß zwischen den Entlastungsschlitz (9, 10) ein stegförmiger Abschnitt (13) ausgebildet ist.
6. Meßvorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der stegförmige Abschnitt (13) eine geringere Wandstärke  $d$  aufweist als die übrige Wandstärke  $D$  der zentralen Einspannhülse (7).
7. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Entlastungsschlitz (9) und wenigstens eine Entlastungsausnehmung (11), vorzugsweise zwei sich gegenüberliegende Entlastungsausnehmungen (11, 12), in etwa rechtwinklig so zueinander berührungsfrei angeordnet sind, daß dazwischen eine schmale Zunge (14), vorzugsweise zwei schmale Zungen (14, 15), ausgebildet sind, die den stegförmigen Abschnitt (13) mit der übrigen Einspannhülse (7) verbinden.
8. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zugewandten Seiten der Entlastungsausnehmungen (11, 12) als Gerade ausgebildet sind.
9. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 4, bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zugewandten Seiten der Entlastungsausnehmungen (11, 12) so erweitert ausgebildet sind, daß der stegförmige Abschnitt (13) wenigstens im Bereich der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung eine lokale Einschnürung (16) aufweist.
10. Meßvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die seitliche Erweiterung der Entla-

stungsausnahmen (11, 12) im mittleren Bereich der der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zugewandten Seiten der Entlastungsausnahmen (11, 12) ausgebildet und kreissegmentförmig oder dreieckförmig oder einer sonstigen geometrischen Form nachgebildet ist.

11. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß auf der zentralen Einspannhülse (7) die Meßstelle (6) zur Ermittlung der von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung und die hiervon mechanisch entkoppelte Meßstelle (5) zur Ermittlung der vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängigen Torsionsspannung wechselnd und gleichmäßig voneinander beabstandet, vorzugsweise jeweils zwei paar Meßstellen (5, 6) wechselnd und unter einem Winkel von 90° zueinander, angeordnet sind.
12. Meßvorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Kraft/Moment-Aufnehmer (1) eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse (7) mit einer Längsachse (8) aufweist, auf der lediglich die Meßstellen (6) für die von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstellen (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung auf einer äußeren Hülse (17), welche die zentrale Einspannhülse (7) koaxial umschließt, angeordnet sind, die über Mittel (18, 20, 35) zur zusätzlichen mechanischen Entkopplung der Meßstellen (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung von der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung mit der zentralen Einspannhülse (7) spielfrei verbunden ist, wobei die Mittel (18, 20, 35) druckelastisch und torsionssteif sind.
13. Meßvorrichtung nach Anspruch 12, wobei die zentrale Einspannhülse (7) an ihrem einen Stirnende einen ersten, vorzugsweise zylindrischen, Flansch (22) und am gegenüberliegenden Stirnende einen zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen, Flansch (23) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß zur mechanischen Entkopplung der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zwischen der äußeren Hülse (17) und der zentralen Einspannhülse (7) wenigstens eine druckelastische torsionssteife kreisförmige Membrane (18) angeordnet ist.
14. Meßvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Hülse (17) ein beidseitig offener Zylinder ist, dessen beiden Enden jeweils einen Innenflansch (24, 25) aufweisen, wobei zwischen sich gegenüberliegenden Flanschen (22, 24 ; 23, 25) von zentraler Einspann-

hülse (7) und äußerer Hülse (17) jeweils eine kreisförmige Membrane (18) so angeordnet ist, daß die äußere Hülse (17) druckelastisch und torsionssteif an der zentralen Einspannhülse (7) gehalten ist.

15. Meßvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Hülse (17) eine topfartige Form aufweist mit einem benachbart zur Außenkante (33) ihrer offenen Seite angeformten Innenflansch (24) und einer kreisförmigen Bodenplatte (26) mit einem Loch (27), durch das sich die zentrale Einspannhülse (7) hindurch erstreckt, so daß bodenseitig die äußere Hülse (17) über die Bodenplatte (26) am zweiten Flansch (23) der zentralen Einspannhülse (17) und an ihrer offenen Seite über eine zwischen den sich gegenüberliegenden Flanschen (22, 24) von zentraler Einspannhülse (7) und äußerer Hülse (17) angeordnete kreisförmige Membrane (18) druckelastisch und torsionssteif gehalten ist.
16. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die kreisförmige Membrane (18) wenigstens eine umlaufende Sicke (19) aufweist.
17. Meßvorrichtung nach Anspruch 12, wobei die zentrale Einspannhülse (7) an ihrem einen Stirnende einen ersten, vorzugsweise zylindrischen, Flansch (22) und am gegenüberliegenden Stirnende einen zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen, Flansch (23) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß zur mechanischen Entkopplung der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung zwischen der äußeren Hülse (17) und der zentralen Einspannhülse (7) wenigstens ein druckelastischer torsionssteifer Balg oder Kompensator (20) vorgesehen ist.
18. Meßvorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Balg oder Kompensator (20) zwischen dem ersten Flansch (22) und der auf der äußeren Hülse (17) angeordneten Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung angeordnet ist.
19. Meßvorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter druckelastischer torsionssteifer Balg oder Kompensator (35) vorgesehen ist, der vorzugsweise zwischen der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung und einer mit dem zweiten Flansch (23) verbundenen kreisförmigen Platte (36) angeordnet ist.
20. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Bälge oder Kompensatoren (20, 35) wenigstens eine umlau-



fende Welle (21) aufweisen.

21. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß äußere Hülse (17), Membran (18), Balg bzw. Kompensator (20, 35) und/oder zentrale Einspannhülse (7) durch bekannte Verbindungstechniken, insbesondere durch Verschrauben und/oder Verschweißen, miteinander starr beziehungsweise spielfrei verbindbar sind.
22. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstellen (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung auf einer äußeren Hülse (17) angeordnet sind, wobei eine mechanische Entkopplung der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung von der von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung durch geeignete Wahl einer geometrischen Anordnung der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung auf der äußeren Hülse (17), insbesondere einer Länge  $L$  des Meßstellenbereiches (5) auf der äußeren Hülse (17), eines Radius  $R$  der äußeren Hülse (17), und einer Stärke  $d$  der äußeren Hülse (17) im Bereich der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung, erfolgt.
23. Meßvorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandstärke  $d$  der äußeren Hülse (17) im Bereich der Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung geringer ist als die übrige Wandstärke  $D$  der äußeren Hülse (17).
24. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erhöhung der Meßempfindlichkeit der auf der äußeren Hülse (17) angeordneten Meßstellen (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung die äußere Hülse (17) zusätzlich radiale Bohrungen aufweist.
25. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß benachbart zu der auf der äußeren Hülse (17) angeordneten Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung wenigstens ein Entlastungsschlitz (9, 10) und/oder wenigstens eine Entlastungsausnehmung (11, 12) analog einer der Ansprüche 3 bis 10 vorgesehen ist.
26. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstelle (6) zur Ermittlung der von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängigen Druckspannung auf der zentralen Einspann-

hülse (7) und die hiervon mechanisch entkoppelte Meßstelle (5) für die vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung auf der äußeren Hülse (17) relativ zueinander wechselnd, vorzugsweise paarweise wechselnd, d.h. vorzugsweise jeweils zwei Paar Meßstellen wechselnd und unter einem Winkel von 90° relativ zueinander, angeordnet sind.

27. Meßvorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Hülse (17) über der auf der zentralen Einspannhülse (7) angeordneten Meßstelle (6) für die von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung eine Ausnehmung zur Platzierung eines Dehnungsmeßstreifens (60) in der Meßstelle (6) für die von der Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung aufweist.
28. Meßvorrichtung nach Anspruch 1,
- wobei der Kraft/Moment-Aufnehmer (1) eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse (7) mit einer Längsachse (8) aufweist, auf der lediglich die Meßstellen (6) für die von der axialen Vorspannkraft  $F_V$  abhängige Druckspannung angeordnet sind, und
  - wobei die zentrale Einspannhülse (7) an ihrem einen Stirnende einen ersten, vorzugsweise zylindrischen, Flansch (22) und am gegenüberliegenden Stirnende einen zweiten, vorzugsweise rechteckförmigen, Flansch (23) aufweist,
- dadurch gekennzeichnet, daß am zweiten Flansch (23) zwei diametral angeordnete Verbindungsarme (31, 32) einstückig angeformt sind, an denen eine äußere zylindrische Hülse (17) so angeordnet ist, daß eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Torsionsspannung so über eine druckelastische torsionssteife Membran (18) und/oder wenigstens einen Balg oder Kompensator (20, 35) sowie über die äußere Hülse (17) auf die Verbindungsarme (31, 32) einwirkt, daß auf wenigstens einem Verbindungsarm (31, 32) in wenigstens einer Meßstelle (5a) mit Dehnungsmeßstreifen (50a) eine vom Kopfreibungsmoment  $M_K$  abhängige Biegespannung meßbar ist.
29. Meßvorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Hülse (17) in alten Bereichen eine in etwa gleichmäßige Materialdicke  $D$  aufweist.
30. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 29, wobei der Kraft/Moment-Aufnehmer (1) eine torsions- und druckelastische zylindrische zentrale Einspannhülse (7) aufweist, die drehelastisch in

einem Gehäuse abgestützt ist, wobei die Abstützung der zentralen Einspannhülse (7) im Gehäuse an einem Stirnende, vorzugsweise an dem Stirnende, an dem der zweite Flansch (23) angeformt ist, über zwei diametral von der Einspannhülse (7) abragende biegeelastische Arme (28, 29) erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß auf den biegeelastischen Armen (28, 29) wenigstens eine, vorzugsweise jeweils eine, Meßstelle (4) mit Dehnungsmeßstreifen (40) für die vom Gesamtanzugsmoment  $M_A$  abhängige Biegespannung vorgesehen ist.

15

20

25

30

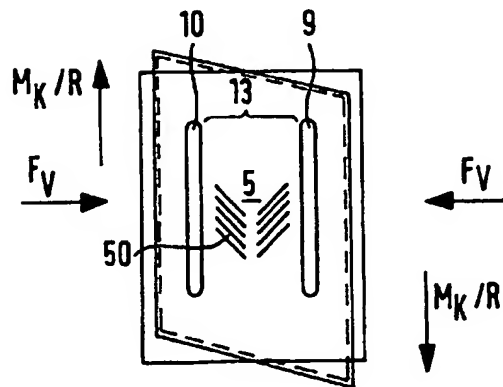
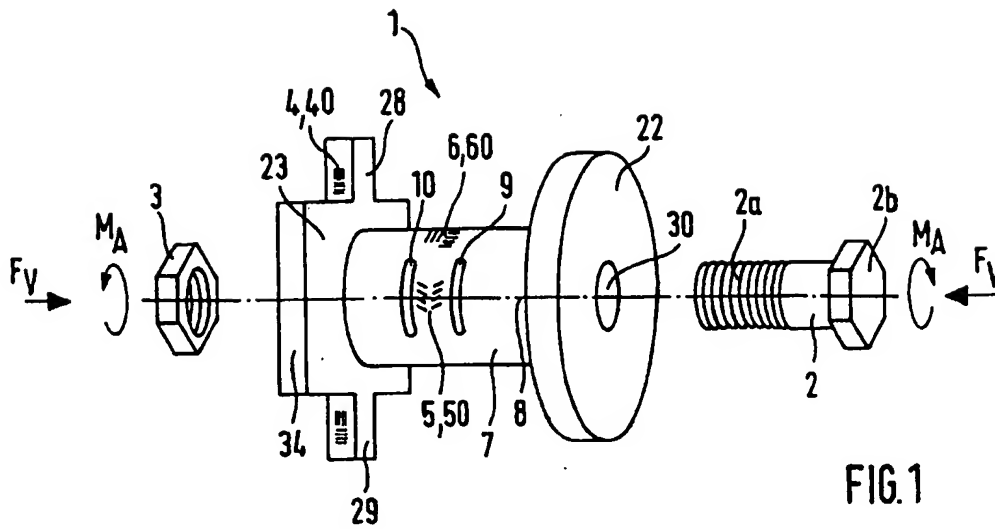
35

40

45

50

55



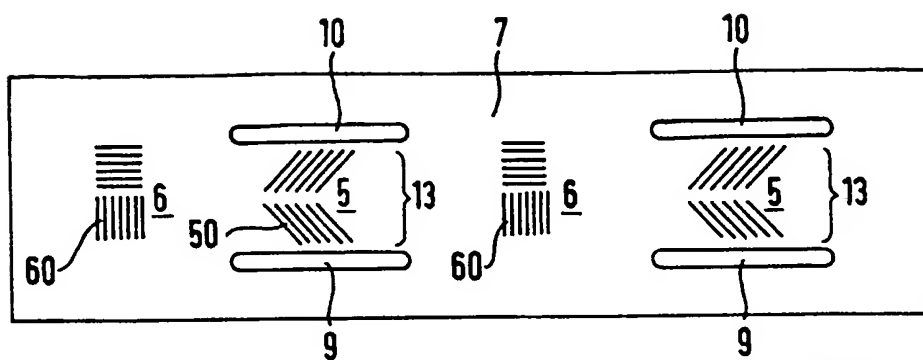


FIG. 3

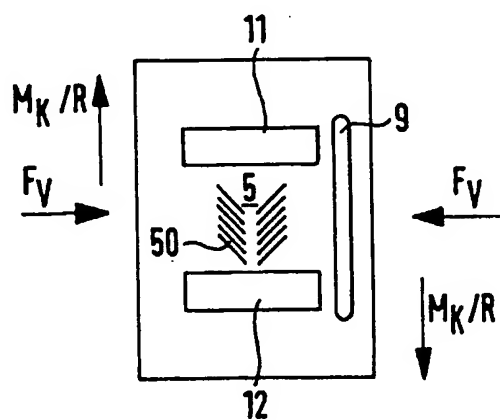


FIG. 4

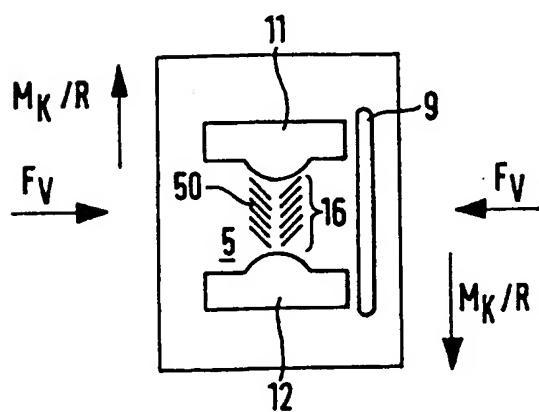
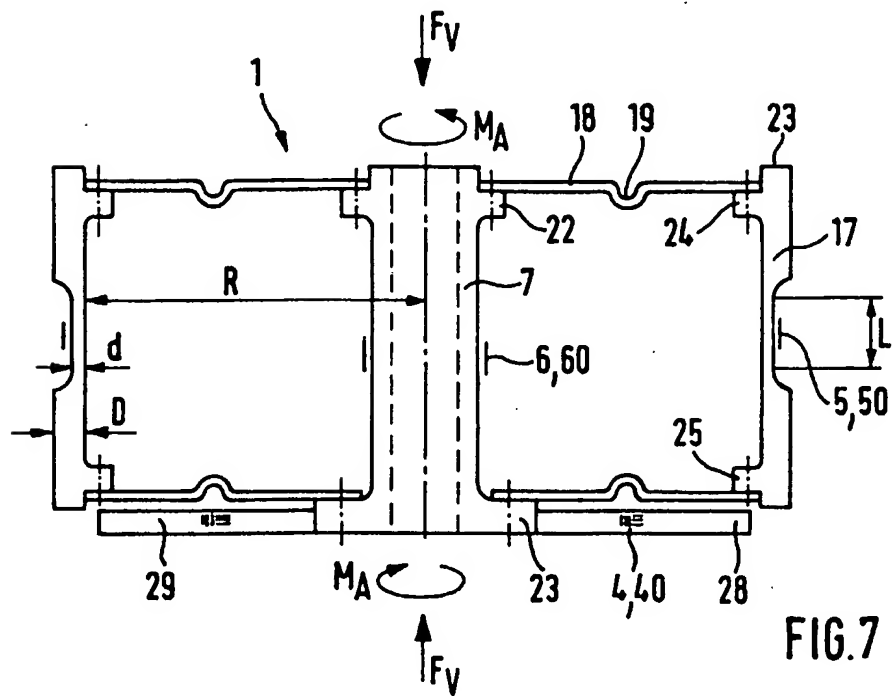
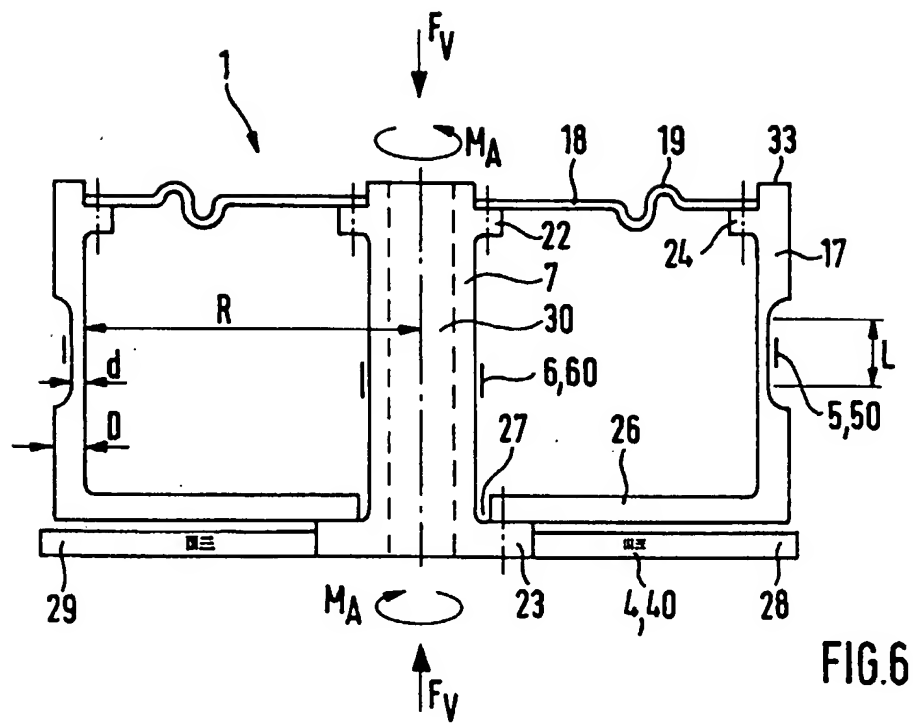
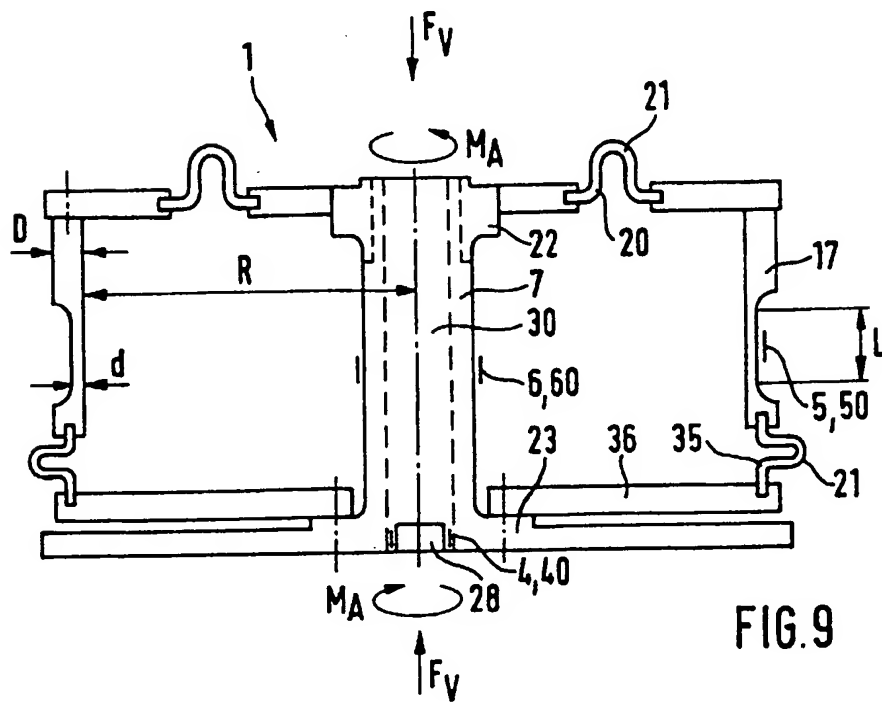
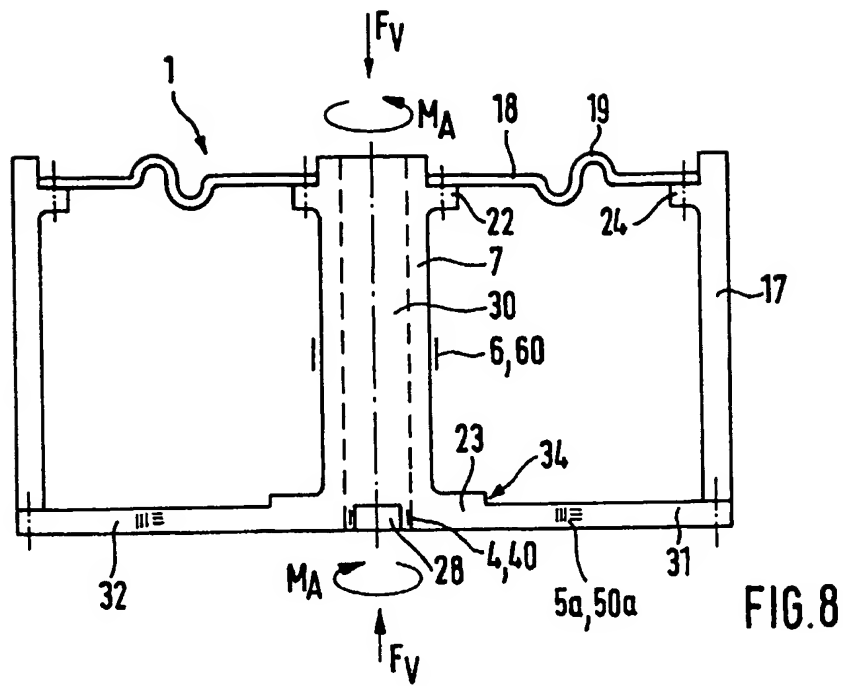
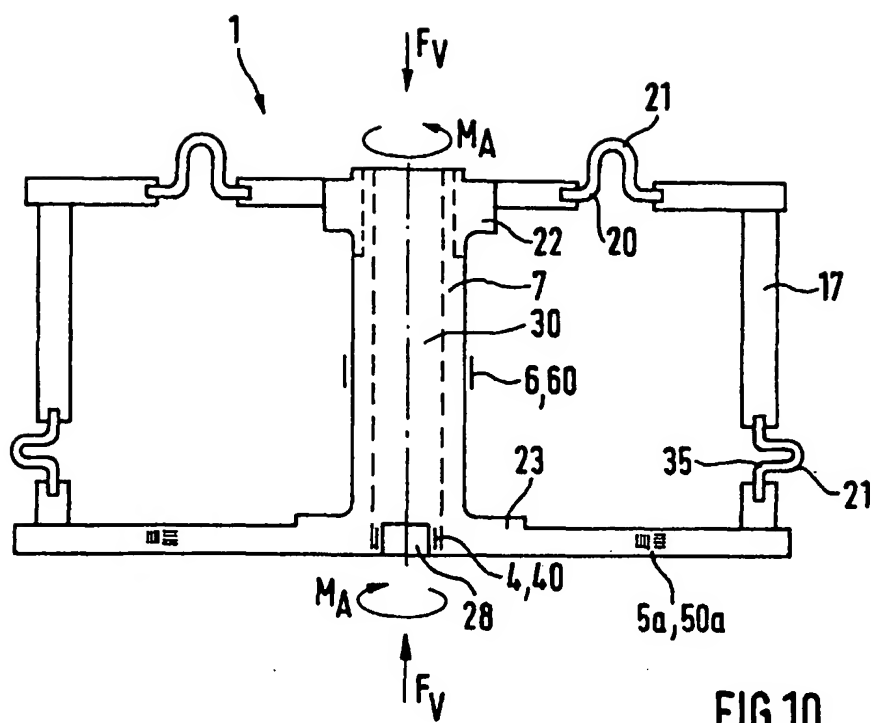


FIG. 5







THIS PAGE BLANK (USPTO)



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**